

3D fotografie pomocí ostření

3D Picture by Focus

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 6. května 2008

.....

Děkuji Mgr. Štěpánu Šrubařovi za pomoc a rady, které mi poskytl při tvorbě této práce.

Abstrakt

Práce pojednává o možnosti tvorby 3D fotografie pomocí ostření. Zaměřuje se na způsoby snímání fotografií, detekci ostrých obrazových bodů a tvorbě snímku s maximální hloubkou ostrosti. Čtenář se seznámí se základními principy zpracování obrazu, jak vybrat vhodný prostor na snímání a s principem, jak funguje snímací zařízení. Tyto znalosti jsou následně použity pro tvorbu aplikace, která vytvoří 3D fotografii a obraz s maximální hloubkou ostrosti.

Klíčová slova: 3D, fotografie, ostření, detekce hran, anaglyf, stereoskopie.

Abstract

This work refers about options of creating 3D photography using focus. It focuses on methods of taking photographs, sharp picture points detection and creation of shot with maximal depth of field. Reader will familiarize basic principles of picture editing, how to choose a proper space for shot and basics of how camera works. This knowledge is further used to create an application, which creates 3D photography and picture with maximal depth of field.

Keywords: 3D, picture, focus, edge detection, anaglyph, stereoscopy.

Obsah

1	Úvod	3
2	Volba vhodného snímacího zařízení a snímaných prostorů	4
2.1	Clona, ohnisková vzdálenost a hloubka ostrosti	4
2.2	ISO	6
2.3	Volba vhodných snímacích prostorů	7
2.4	Snímání obrazů s mnoha rovinami ostrosti	8
3	Tvorba obrazu s maximální hloubkou ostrosti	9
3.1	Metody detekce ostrosti	9
3.2	Metody založené na laplaciánu	10
3.3	Srovnání obrazových bodů	12
3.4	Hledání maximální hodnoty hrany pro každý obrazový bod	13
3.5	Výpočet relativní polohy obrazových bodů	14
3.6	Kompletace obrazu s maximální délkou ostrosti	16
3.7	Tvorba anaglyfu	16
4	Zpracování zadání	17
4.1	Snímání	17
4.2	Zpracování nasnímaných obrazů a tvorba obrazu s maximální hloubkou ostrosti	17
5	Vliv clony a filtrů	26
6	Závěr	30
7	Reference	31

Seznam obrázků

1	Vliv clonového čísla na propustnost světla.	5
2	Snímek se clonou $f/1.4$	5
3	Snímek se clonou $f/36$	5
4	Průběh focení	8
5	Původní fotka	19
6	Sobelův operátor	19
7	Operátor Prewittové	19
8	Robertsův operátor	19
9	Highpass filtr	19
10	Laplacian of gaussian	19
11	Graf obrazových bodů, ležících v části objektu na snímku.	21
12	Graf obrazových bodů, které reprezentují část oblohy.	21
13	Výsledný snímek ($f/1.8$, ohnisková vzdálenost: 50 mm)	23
14	Relativní pozice obrazových bodů v prostoru	23
15	Snímek s maximální hloubkou ostrosti	25
16	Posunutý snímek	25
17	Kanál modré a zelené z původní fotografie	25
18	Kanál červené z posunuté fotografie	25
19	Výsledný anaglyf	25
20	Průběh focení druhé série	26
21	Snímek s maximální hloubkou ostrosti z druhé série	26
22	Průběh focení třetí série	27
23	Snímek s maximální hloubkou ostrosti z třetí série	27
24	Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití metody Laplacian of Gaussian	28
25	Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití Sobelova operátoru	28
26	Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití Robertsova operátoru	29
27	Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití Highpass filtru	29

1 Úvod

S rozmachem digitálních technologií se změnily i fotoaparáty a jejich způsob zachycení obrazu. Klasický fotoaparát na film se již nevyskytuje v takové míře jako před lety. Film byl nahrazen světlocitlivým senzorem, který obsahuje velké množství světlocitlivých částí. Při dopadu světla na ně se generují elektrické náboje, které podle intenzity převede zařízení na výsledný snímek. Konstrukce digitálních a klasických zrcadlovek se od sebe až tak razantně neliší (pomineme-li digitální senzor). Chceme-li snímat prostor, díváme se do hledáčku, kde prochází světlo objektivem, v jehož optickém středu je umístěna clona, která určuje množství procházejícího světla. Při klidovém stavu je clona vždy otevřena. To nám zaručuje, že obraz v hledáčku je co nejjasnější. Světlo dopadá na zrcátko, které je skloněné v úhlu 45° , a to se odráží na matnici. Matnice je průhledné skleněné či plastové plátno, na kterém se obraz promítne. Obraz vytvořený objektivem je převrácen vzhůru nohama, proto je třeba ho otočit. K převrácení obrazu slouží hranol, který je umístěn v hledáčku. U levnějších modelů se používají zrcátka. Čím kvalitnější je hranol, tím jasnější a světlejší je obraz v hledáčku. Při stisknutí spouště se zrcadlo sklopí vzhůru a odkryje senzor (dojde k zakrytí hledáčku). Clona se uzavře na nastavenou hodnotu, otevře se závěrka a světlo dopadá na senzor po dobu nastavené expozice. Poté se uzavře závěrka, zrcadlo se sklopí do původní polohy a fotoaparát zpracuje signál, který zachytil senzor.

Výsledný obraz se nám uloží v určeném formátu (např. ARW, JPEG, ...) na paměťovou kartu ve fotoaparátu, ze které lze potom přehrát nasnímané snímky do dalších zařízení. Digitální fotografii lze následně snadno analyzovat a upravovat. Úpravy fotografií, které bychom dělali u klasického filmu složitými chemickými procesy, nám u digitální fotografie můžou trvat pouze jedno kliknutí myši.

Proč ale zůstat pouze u klasické 2D fotografie? Dnes již existuje spousta technik, které dokážou z 2D fotografie vytvořit 3D fotografii, nebo alespoň z dvourozměrné předlohy vyvolat prostorový vjem. Pro vyvolání prostorového vjemu se používá technik stereografie. Stereografie je založená na vnímání lidského oka, které se dá oklamat a dodat tak pro každé oko odlišný obraz. Námi vybraný způsob bude metoda, při které využijeme anaglyfické brýle, které jsou složeny ze dvou barevných filtrů například červeného a modrého skla. Červené sklo propouští pouze červeně zbarvené objekty na fotografii a modré sklo ostatní barevné spektra. Fotografie pro anaglyfické brýle jsou tvořeny dvěma fotkami stejného místa, které je nasnímáno pod různým úhlem. Naším cílem je se pokusit vytvořit anaglyf pouze snímáním daného prostoru z jednoho místa bez pohybu fotoaparátu. Tento obraz se pokusíme vytvořit nasnímáním více snímků stejného prostoru pod různým ostřením. Abychom mohli snímek vytvořit, potřebujeme znát relativní pozice objektů v prostoru, abychom mohli následně vytvořit druhý obraz, který bude reprezentovat nasnímaný prostor z jiného úhlu pohledu. Aby byl prostorový vjem co největší, je důležité získat fotografii s maximální hloubkou ostrosti, na které budou všechny objekty dokonalé ostré. Výslednou fotografii získáme složením jednotlivých snímků, které pořídíme.

2 Volba vhodného snímacího zařízení a snímaných prostorů

Pro zpracování obrazu potřebujeme snímací zařízení, které nám umožňuje použít objektiv s nízkým clonovým číslem a manuálním ostřením. Díky malému clonovému číslu docílíme nízké hloubky ostrosti, která nám umožní nasnímat prostor tak, že na obraze budeme mít vždy objekty ležící v rovině ostrosti dokonalé ostré a objekty mimo tuto rovinu budou rozostřené. Z takto nasnímaných snímků můžeme při dalším zpracování určit vzdálenost objektů v prostoru od snímaného místa. Dalším požadavkem pro snímací zařízení je možnost nastavit co nejnižší hodnoty u citlivosti ISO. Čím menší hodnota ISO, tím méně šumu na výsledné fotografii. Toto bude popsáno a zdůvodněno v kapitole 2.2. Pro nás je ideální co nejnižší šum, protože nám bude ve výsledku zvyšovat kvalitu a přesnost zpracování.

2.1 Clona, ohnisková vzdálenost a hloubka ostrosti

Clona

Definice 2.1 *Clonou se rozumí průměr otvoru, kterým prochází světlo na snímač fotoaparátu [Pih07].*

Zvětšováním a zmenšováním clonového čísla dochází ke zmenšování a zvětšování průměru otvoru, kterým prochází světlo. Čím větší clonové číslo, tím menší průměr otvoru a naopak.

Clonové číslo

Definice 2.2 *Clonovým číslem se rozumí poměr ohniskové vzdálenosti objektivu a clony (průměru otvoru) [Pih07].*

Stupnice není lineární ale logaritmická, což znamená, že následující hodnota na stupnici $2\times$ snižuje množství světla, které projde otvorem.

Otevření/zavření clony o 1 hodnotu (1 clonové číslo) musí zdvojnásobit/snížit na polovinu množství světla dopadajícího na senzor. Ke zdvojnásobení světla je třeba zdvojnásobit plochu, kterou světlo v objektivu prochází. Pro kruhové clony znamená zdvojnásobení plochy zvětšení průměru clony o odmocninu ze 2, což je 1,4 [Pih07].

$$S = \pi \cdot r^2, \quad (1)$$

kde r je poloměr clony, S je plocha, kterou světlo prochází.

Clonové číslo se dá vypočítat ze vzorce:

$$a = \frac{f}{d}, \quad (2)$$

kde a = clonové číslo, f = ohnisková vzdálenost, d = průměr otvoru (clony).



Obrázek 1: Vliv clonového čísla na propustnost světla.

Rovina (absolutní) ostrosti

Definice 2.3 *Rovina ostrosti je dvojrozměrný prostor, ve kterém jsou všechny body maximálně zaostřené.*

Hloubka ostrosti

Definice 2.4 *Hloubka ostrosti je oblast před a za rovinou ostrosti, kde rozostření nebude na výsledné fotografii měřitelné. Oblast za rovinou ostrosti je vždy delší než oblast před ní [Pih07].*

Čím je clona více uzavřená, tím bude větší hloubka ostrosti. To bude mít za následek více zaostřených objektů důsledkem vzdalování se rovin, určujících oblast hloubky ostrosti, od roviny ostrosti. Naopak čím bude clona více otevřená, tím méně zaostřených objektů na výsledném snímku bude. Pro nás je důležité použít objektiv, který umožňuje nastavit co nejnižší clonové číslo, abychom mohli u jednotlivých objektů snadněji určit jejich relativní vzdálenost v prostoru. Relativní vzdálenost bychom byli schopni určit i ze snímků, které byly pořízené s vyšším clonovým číslem. Tento postup by byl ale výpočetně náročnější a méně přesný.



Obrázek 2: Snímek se clonou $f/1.4$



Obrázek 3: Snímek se clonou $f/36$

Vliv clonového čísla na hloubku ostrosti a propustnosti světla pro objektiv SONY SAL-50F14:

Clonové číslo	Propustnost světla	Hloubka ostrosti
f/1,4	1/1	Nejmenší
f/2	1/2	Malá
f/2,8	1/4	Malá
f/4	1/8	Malá
f/5,6	1/16	Střední
f/8	1/32	Střední
f/11	1/64	Střední
f/16	1/128	Velká
f/22	1/256	Velká
f/32	1/512	Největší

2.2 ISO

Definice 2.5 *ISO je označení pro citlivost, která se vyjadřuje číselnou hodnotou.*

Na první pohled to vypadá tak, že výběrem v menu nebo přenastavením tlačítka se prostě a jednoduše změní to, jak citlivý bude snímač na světlo. Avšak ve skutečnosti se vlastní reakce snímače na světlo nemění, ale se zvýšením hodnoty ISO sdělujeme fotoaparátu, aby zesílil zachycený signál [Dav08].

Zvětšení hodnoty ISO se může projevit vyšším šumem na výsledném snímku. Snímek bez šumu je ideálním snímkem pro následné zpracování obrazu. Ten by se mohl negativně projevit při metodách, které hledají nejostřejší objekt na snímku. Takže by mohlo dojít ke zkreslení informací pro tvorbu fotografie s maximální hloubkou ostrosti, kde bychom místo neostrého bodu mohli dostat takový, který by byl považován za součást ostrého objektu. Samotný šum ovšem nezávisí pouze na nastavené hodnotě ISO.

Definice 2.6 *Šum je náhodná a těžko předvídatelná změna signálu či dat. Barva a jas pixelu obsahující šum nijak nesouvisí s obsahem scény, a proto obsah snímku znehodnocují [Pih07].*

Protože šum znehodnocuje obsah snímku je pro nás nežádoucí.

Šum na digitálních fotografiích má několik zdrojů:

- Je dán typem a kvalitou samotného snímače (CCD a CMOS snímače se chovají trochu jinak).
- Je ovlivněn velikostí pixelů snímače. Čím je velikost menší, tím méně světla na něj dopadne. To znamená, že se signál musí více zesilovat, a tím se zesílí i šum.
- Zesílením citlivosti před digitalizací.

ISO	Šum
100	Téměř žádný šum
200-600	Velmi nízká hladina šumu
600-1000	Šum již může být na pohled patrný
Vyšší než 1000	Šum je zcela zřetelný

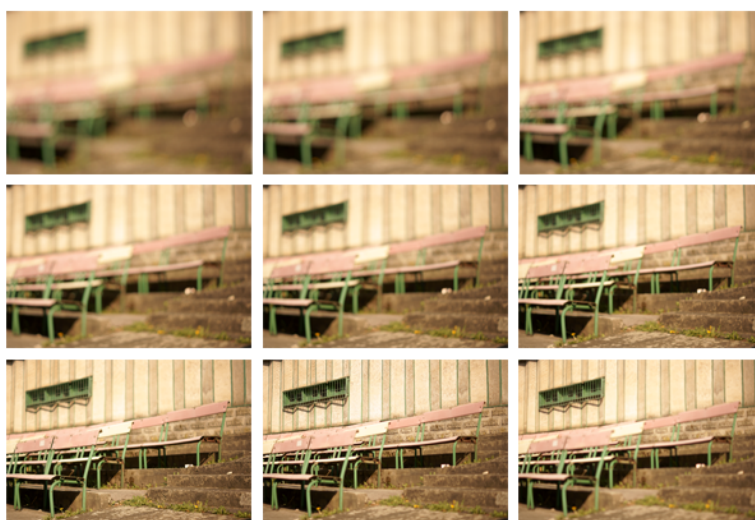
- Samotná digitalizace snímku přidává určitý šum.
- Dlouhou expozicí (s narůstajícím časem bude narůstat i šum). Dopadající světlo a okolní elektronika zahřívá snímač. Při vyšší teplotě se generuje více tepelného šumu. Elektronky mohou přeskakovat mezi pixely. Čím více času, tím více jich přeskočí, tím více šumu. Tento šum se nazývá "Dark current noise". Mnoho fotoaparátů při delších expozicích provádí automatickou redukci toho šumu (Long exposure noise reduction). Některé specializované (biomedicínské) fotoaparáty kvůli tomu používají chladičí zařízení.

2.3 Volba vhodných snímacích prostorů

Vhodný snímaný prostor je pro nás takový, který obsahuje statické objekty, které nejsou ovlivněny vnějšími vlivy, a je dostatečně osvětlený. Příkladem špatného snímaného prostředí může být takové, ve kterém se vyskytují pohybující se objekty (zvířata, rušné ulice, apod.), nebo objekty, které se pohybují v důsledku vnějších vlivů (stromy hou-pající se ve větru, apod.). Příkladem ideálního prostředí může být obraz obsahující pouze architektonické objekty, protože nám nezpůsobí pohyb objektu během snímání. Toto je důležité při následném zpracování obrazů a tvorby 3D mapy. Kdyby se nám při snímání objekt pohyboval, nemohli bychom určit jeho relativní polohu v prostoru. Výpočet relativní polohy je založen na porovnávání intenzity ostroty jednotlivých pixelů na pozicích $[x, y]$ ze série obrazů jdoucích za sebou. Dojde-li k posunu objektu, vznikne nám při výpočtu chyba, která se může ve výsledné fotografii s maximální hloubkou ostroty projevit například jako zdvojení daného objektu. To je pro nás nežádoucí.

2.4 Snímání obrazů s mnoha rovinami ostrosti

Při snímání obrazů je důležité, aby snímací zařízení bylo umístěno na stativu, který je pevně upevněn k podložce, čímž zamezíme nechtěný pohyb snímacího zařízení. Máme-li splněný tento předpoklad, můžeme přejít k samotnému snímání. Na zařízení nastavíme nejnižší clonové číslo, jaké nám zařízení umožňuje, a nastavíme rovinu ostrosti na co nejmenší vzdálenost od bodu, ve kterém se zařízení nachází. Postupně snímáme obraz a posouváme rovinu ostrosti od snímače až na maximum. Při snímání se doporučuje zvětšovat vzdálenost roviny ostrosti po menších úsecích. Podaří se nám takto nasnímat větší množství fotek, které se ve výsledku projeví větší kvalitou výsledné fotky díky většímu množství informací o daném prostoru.



Obrázek 4: Průběh focení

3 Tvorba obrazu s maximální hloubkou ostrosti

Po nasnímání dostatečného množství obrazů je nyní naším cílem určit vzdálenost jednotlivých pixelů v prostoru. Pro tento úkol nám poslouží metody v oboru zpracování digitálního obrazu, které nám naleznou ostré body.

3.1 Metody detekce ostrosti

Pro detekci ostrosti jednotlivých bodů na obrazu se nám nabízí řada možností, my se však budeme věnovat pouze některým, které následně srovnáme, a vybereme pro nás nejvhodnější variantu. Základní metody pro detekci hran jsou dvojího typu: metody založené na gradientu, metody založené na laplacianu.

3.1.1 Metody založené na gradientu

Metody založené na gradientu detekují hrany hledáním maxima a minima v první derivaci obrazu [MA09].

Výsledkem první derivace obrazu ve směrech x a y je gradient. Gradient funkce dvou proměnných $f(x,y)$ je definován jako vektor [Dob08]:

$$\nabla f = \begin{pmatrix} G_x \\ G_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Velikost tohoto vektoru je

$$mag(\nabla f) = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2} \quad (4)$$

Častěji se používá zjednodušený výpočet

$$|G_x| + |G_y| \quad (5)$$

Směr gradientu se vypočte jako

$$\varphi(x, y) = \arctan \frac{G_y}{G_x} \quad (6)$$

Ze směru gradientu můžeme určit orientaci hrany, protože je kolmý na hranu.

Mezi tyto metody výpočtu gradientu patří:

- Sobelův operátor
- Robertsův operátor
- Operátor Prewittové
- Robinsonův operátor
- Kirschův operátor

3.2 Metody založené na laplaciánu

Metody založené na laplaciánu využívají k detekci hran průchodu druhé derivace nulou. V odborné literatuře se to označuje jako zero-crossing. Máme signál, který reprezentuje nárůst intenzity daného obrazového bodu. Potom první derivace tohoto signálu nám ukáže maximum uprostřed hrany původního signálu.

Druhá derivace představuje rychlost změny hodnot jasu. Projeví se zejména na strmých nebo izolovaných hranách, nebo ji lze použít pro detekci izolovaných bodů (je zřejmé, že bude zvýrazňovat i šum). Diferenciál lze u diskrétního obrazu počítat jako rozdíl rozdílů hodnot jasu ležících vedle sebe:

$$\frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \approx [f(x+1, y) - f(x, y)] - [f(x, y) - f(x-1, y)] \quad (7)$$

K detekci izolovaných bodů lze použít tzv. Laplaceův operátor ∇^2 . Výsledek aplikace Laplaceova operátoru na funkci f v bodě (x, y) je:

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (8)$$

[Dob08].

Mezi tyto metody založené na laplaciánu patří:

- Laplacian of Gaussian
- Cannyho hranový detektor

3.2.1 Laplacian of Gaussian

Laplaceův operátor je velmi citlivý na šum. Proto se velmi často používá v kombinaci s Gaussovým operátorem. Tyto dvě operace lze spojit v jednu a provádět tyto dva kroky zároveň. Nemusíme tedy použít jako první Gaussový operátor pro redukci šumu a poté na výsledný obraz použít Laplaceův operátor.

Konvoluční jádro tohoto spojeného operátoru je následující:

$$\nabla^2 h(r) = \frac{r^2 - 2\sigma^2}{2\pi\sigma^6} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad (9)$$

kde $r^2 = x^2 + y^2$.

Příklad masky 5×5 pro vstupní hodnoty v rozsahu 0 až 255.

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3.2.2 Sobelův operátor

Sobelův operátor je založený na páru masek G_x a G_y o velikosti 3×3 . Masky G_y je transponovaná matice masky G_x . Tyto masky jsou vytvořeny, aby co nejvíce odpovídaly horizontálním a vertikálním hranám (relativně vůči pixelové mřížce). Každá maska může být použita zvlášť, aby našla hrany v námi předpokládaném směru. Masky G_x se používá pro detekci hran v ose y , G_y v ose x .

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

(a) G_y (b) G_x

Velikost i směr gradientu se počítá stejně jako u gradientních metod pomocí rovnic (4) a (6).

Směr hrany můžeme získat ze vzorce:

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x} \quad (10)$$

3.2.3 Robertsův operátor

Robertsův (křížový) operátor je jednoduchá metoda pro detekci hran. Je založena na dvou konvolučních maskách G_x a G_y o velikosti 2×2 .

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

(a) G_y (b) G_x

Stejně jako u Sobelova operátoru je maska G_y transponovanou maticí masky G_x . Masky jsou navrženy tak, aby co nejvíce odpovídaly hranám, které jsou pod úhlem 45° k ose x a y .

Velikost a směr gradientu vypočteme pomocí rovnice (4) a (6). Úhel, který svírá hrana s osou x a y vypočteme jako:

$$\theta = \arctan \frac{G_y}{G_x} - \frac{3 \cdot \pi}{4} \quad (11)$$

3.2.4 Operátor Prewittové

Tato metoda je velice podobná Sobelovému operátoru, má dvě masky o velikosti 3×3 G_x a G_y . G_y je transponovaná matice masky G_x . Používá se pro detekci hran v horizontálním a vertikálním směru.

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & -1 \end{pmatrix}$$

(a) G_x (b) G_y

Výpočty velikosti gradientů a směru hran se zjišťují stejně jako u Sobelova operátoru 3.2.2. Existují různé další modifikace masek, např.

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

(a) G_x (b) G_{45}

Maska 5b se dá použít pro detekci hran svírající uhel 45° .

3.2.5 Highpass filtr

Highpass filtr neboli horní propust je filtr, který propouští vysoké frekvence signálu. Nízké frekvence jsou odfiltrovány.

Příklad masky:

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

Součtem hodnot jednotlivých pixelů z masky dostaneme výslednou hodnotu, která určí intenzitu daného obrazového bodu.

3.3 Srovnání obrazových bodů

Před samotným vygenerováním 3D mapy je důležitým krokem ještě zjištění posunu jednotlivých obrazových bodů na všech nasnímaných obrazech.

1. Pro každý obraz seřazený podle vzdálenosti od snímacího bodu, s výjimkou prvního obrazu, určíme čtverec obrazových bodů, kde je středem aktuální obrazový bod na pozici X (určující horizontální polohu pixelu) a pozici Y (určující vertikální polohu), pro který nalezneme hodnoty úrovně zelené barvy ze schématu RGB pro aktuální a předchozí obraz.
2. Provedeme součet absolutních hodnot rozdílů příslušných obrazových bodů ze čtverců. Součet následně vydělíme obsahem čtverce. Výsledek nám určuje chybovou hodnotu dvou obrazových bodů na pozici X,Y z předchozího a aktuálního obrazu.

3. Pro každý obrazový bod ve čtverci aktuálního obrazu, s výjimkou středového bodu, vytvoříme nový čtverec obrazových bodů se středem v daném obrazovém bodě. Získáme hodnoty úrovně barev ze schématu RGB pro všechny obrazové body ve čtverci. Provedeme 2. krok tak, že ponecháme původní čtverec obrazových bodů z předchozího obrazu a druhý čtverec nahradíme za nově vytvořený.
4. Přesuneme středový pixelový bod ze čtverce na pozici X,Y , kde byla nalezena nejmenší chyba.
5. Postup opakujeme pro všechny obrazové body v obraze.

3.4 Hledání maximální hodnoty hrany pro každý obrazový bod

Nyní máme vše připravené k tomu, abychom našli rovinu maximální ostrosti pro každý obrazový bod. Vycházíme z předpokladu, že každý obrazový bod má v prostoru pouze jedno maximum, podle kterého určíme jeho vzdálenost v prostoru od snímacího zařízení. Pro nalezení maxima použijeme stejně jako u detekce ostrosti několik metod, které porovnáme a poté použijeme tu, která dosáhne nejlepších výsledků.

3.4.1 Hledání globálních extrémů pro každý obrazový bod

Máme obrazové body ležící na pozici $[x, y, z]$, kde z reprezentuje pozici snímku v sérii za sebou jdoucích fotek, pro které jsme našli hrany. Pro každou pozici $[x, y]$ si z těchto obrazových bodů můžeme vytvořit průběhy funkce, u kterých nám průběh funkce bude definovat pozice z . Pro každé z máme hodnotu obrazového bodu ležícího na pozici $[x, y, z]$. Takto za sebe naskládáme jednotlivé body a průběh funkce je hotov.

Nalezneme globální maxima pro všechny diskrétní funkce, které poté využijeme při tvorbě obrazů s maximální hloubkou ostrosti.

Globální maximum funkce $f(x) : M \rightarrow R$ na množině M je bod $y \in M$ takový, že $f(y) \geq f(x)$ pro všechna $x \in M$. Při hledání maxima si musíme dávat pozor na šum, proto je vhodné před samotným hledáním globálního extrému aplikovat na jednotlivé snímky filtr, který šum redukuje.

3.4.2 Hledání maxima pomocí mediánu

Tato metoda je založena na podobném principu jako metoda pro srovnávání obrazových bodů.

- V každém obraze pro každý obrazový bod vytvoříme plochu obrazových bodů, podle zvoleného kernelu, se středem v aktuálním obrazovém bodě na pozici X,Y .
- Zjistíme hodnotu ze schématu RGB pro všechny obrazové body a nalezneme jejich medián.
- Porovnáme příslušné obrazové body z každého obrazu a nalezneme maximum.

- Přiřadíme obrazovému bodu pořadí obrazu, ve kterém se nachází maximum. Tato hodnota nám bude sloužit pro určení vzdálenosti daného obrazového bodu.

Vzorec pro výpočet mediánu

$$m = A_{\text{round}(n/2)}, \quad (12)$$

kde A jsou prvky kernelu seřazeny podle velikosti, n je počet prvků v kernelu.

3.4.3 Hledání maxima pomocí váženého průměru

Postup pro hledání maxima pomocí váženého průměru je obdobný jako hledání maxima pomocí mediánu (3.4.2). Rozdíl je akorát v tom, že místo mediánu hledáme vážený průměr, který vypočteme ze vzorce

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (13)$$

kde x je soubor hodnot, w jsou odpovídající váhy.

3.5 Výpočet relativní polohy obrazových bodů

K výpočtu relativní polohy nám poslouží parabola, kterou si určíme z kvadratické rovnice. Výpočet provedeme pomocí přiřazeného pořadí. Pro každý maximální obrazový bod si vezmeme medián okolí příslušných bodů předchozího a následujícího obrazu.

$$\text{med}((\cup_h f[x + -h, y + -h, z - 1]) \cup (\cup_h f[x + -h, y + -h, z + 1])) \quad (14)$$

Nalezneme koeficienty kvadratické funkce, která interpoluje diskrétní hodnoty získané z obrazů, z předpisu

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0 \quad (15)$$

definice viz. [Kot03].

Známe 3 hodnoty z (pozice obrazu v sérii)

1. z_1 = pozice předchozího obrazu
2. z_2 = pozice aktuálního obrazu
3. z_3 = pozice následujícího obrazu,

k nim jejich hodnoty y

1. y_1 = medián okolí ve tvaru námi zvoleného kernelu předchozího obrazového bodu

2. y_2 = aktuálního bodu

3. y_3 = následujícího bodu.

Můžeme tedy zapsat tři rovnice o třech neznámých:

$$a \cdot z_1^2 + b \cdot z_1 + c = y_1 \quad (16)$$

$$a \cdot z_2^2 + b \cdot z_2 + c = y_2 \quad (17)$$

$$a \cdot z_3^2 + b \cdot z_3 + c = y_3 \quad (18)$$

Z první rovnice si vyjádříme neznámou c , dostaneme tedy rovnici

$$c = y_1 - a \cdot z_1^2 - b \cdot z_1 \quad (19)$$

Z druhé rovnice si vyjádříme neznámou b následnými úpravami rovnic.

$$b = \frac{y_2 - a \cdot z_2^2 - y_1 + a \cdot z_1^2}{z_2 - z_1} \quad (20)$$

Předposledním krokem k nalezení předpisu kvadratické rovnice je vyjádření neznámé a ze třetí rovnice.

Dostaneme tedy rovnici

$$a = \frac{(y_3 - y_1) \cdot (z_2 - z_1) \cdot (y_2 - y_1)}{(z_2 - z_1) \cdot (z_3^2 - z_1^2) + (z_3 - z_1) \cdot (z_1^2 - z_2^2)} \quad (21)$$

Výsledný předpis kvadratické rovnice bude tedy vypadat takto:

$$a \cdot x^2 + b \cdot y + c = 0, \quad (22)$$

kde $a = (21)$, $b = (20)$, $c = (19)$. Z předlohy kvadratické rovnice si nyní najdeme nulové body podle rovnice

$$x_1, x_2 = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2 \cdot a}, \quad (23)$$

kde $D = b^2 - 4 \cdot a \cdot c$. Následně si určíme x -ovou pozici vrcholu paraboly

$$v[x] = \frac{|x_1| + |x_2|}{2} \quad (24)$$

X -ová pozice vrcholu paraboly nám určuje přesnou polohu maxima. Pro nás bude dostačující zaokrouhlená x -ová pozice vrcholu paraboly na celé číslo. Toto číslo nám určí, na kterém snímku se nachází pixel s maximální hodnotou hrany. Je-li $\text{round}(v[x]) < 0$, nastavíme pozici na 0 (první obraz), je-li $\text{round}(v[x]) > \text{počet fotek}$, nastavíme reálnou polohu pixelu na počet fotek - 1.

3.6 Kompletace obrazu s maximální délkou ostrosti

Nyní už známe 3D mapu obrazu, takže pro nás není problém vytvořit výsledný obraz s maximální hloubkou ostrosti.

Definice 3.1 *Obraz s maximálním délkou ostrosti je takový, na kterém jsou všechny objekty ostré).*

1. Vytvoříme si prázdný obraz o výšce a šířce jednoho z nasnímaných obrazů.
2. Obrazové body z 3D mapy mají nyní polohu $[x, y, z]$. Na námi vytvořený obraz přiřadíme na pozici $[x, y]$ hodnotu RGB z obrazového bodu, který se nachází na pozici $[x, y]$ v obraze, který je z -tý v sérii.
3. Po přiřazení všech bodů uložíme obraz. Tento obraz bude mít maximální hloubku ostrosti.

3.7 Tvorba anaglyfu

3.7.1 Anaglyf

Definice 3.2 *Anaglyf je spojení dvou obrazů stejné scény nasnímaných pod různým úhlem. Pro snímky jsou použity různé barevné složky z kanálu RGB.*

Druhý obraz scény získáme posunem fotoaparátu o určitou vzdálenost, většinou se uvádí vzdálenost očí. V dnešní době existují fotoaparáty, které mají dva objektivy. Fotoaparát není proto nutno posouvat. Výsledkem jsou dvě fotografie focené ze stejné vzdálenosti pod různým úhlem. Při posunu fotoaparátu můžeme změnit vzdálenost focené scény a výsledný anaglyf bude méně kvalitnější. Další metodou pro získání dvou snímků pro anaglyf je stereoobjektiv. Stereoobjektiv obsahuje dvě světelné cesty. Při snímání obrazu využije každá cesta pouze polovinu snímače, což způsobuje změnu poměru stran. Je to stejné, jako kdybychom měli fotoaparát s dvěma objektivy. Anaglyf je taky možno vytvořit pomocí získání sérií snímků ze stejného místa pomocí ostření. Pro tento způsob tvorby anaglyfu není k dispozici obraz pořízený z jiného úhlu.

3.7.2 Získání druhého obrazu

V našem případě jsme snímali scénu pouze z jednoho úhlu, proto je nutno vytvořit pohled z jiného úhlu úměle. Nejjednodušší pro nás bude posun objektů na snímku na ose x, y a následné nahrazení nedefinovaných míst na obraze, které tento posun vytvoří. Hodnota RGB obrazového bodu v černém místě se určí z nejbližšího obrazového bodu pozadí. Tomu, jak se černá místa na fotografii odstraňují, se podrobněji budeme věnovat později.

4 Zpracování zadání

4.1 Snímání

4.1.1 Použité snímací zařízení

Mnou vybrané snímací zařízení byl fotoaparát značky SONY s označením alpha 700 s objektivem SONY DT 1.8f/50. Toto zařízení jsem zvolil, protože splňuje požadavky vhodného snímacího zařízení a má možnost manuálního nastavení clony, času snímání prostoru. Dále je toto zařízení možné používat spolu s dálkovým ovladačem, který nám zabrání případnému nechtěnému posunutí fotoaparátu. V našem případě nám objektiv zařízení umožňuje nastavit rozsah vzdálenosti roviny ostrosti od 0.34 metrů až po ∞ . Clonové číslo při snímání bylo nastaveno na f/1,8. Pro další snímání jsem zvolil objektivy SONY 3.5-5.6f/18-70 a SONY 4-5.6f/55-200, abych porovnal vliv velikosti clony a ohniskové vzdálenosti na tvorbu obrazu s maximální hloubkou ostrosti.

4.1.2 Zvolené snímací prostory

Prostory ke snímání jsem volil tak, aby co nejvíce splňovaly požadavky (2.3).

Snímané prostory	Objektiv	Clona	ohnisko
Letní kino v Orlové	SONY 1.8f/50	f/1.8	50
Letní kino v Orlové	SONY 3.5-5.6/18-70	f/3.5	18
Letní kino v Orlové	SONY 4-5.6f/55 - 200	f/4	200

4.2 Zpracování nasnímaných obrazů a tvorba obrazu s maximální hloubkou ostrosti

4.2.1 Porovnání obrazových bodů na nasnímaných obrazech

Porovnání obrazových bodů je založeno na porovnání rozdílů čtverců obrazových bodů z předchozího a následujícího obrazu. Chybu získáme součtem rozdílů hodnot zelené z příslušných obrazových bodů ze čtverce a jeho následným vydělením obsahem čtverce. Čtverec, od kterého odčítáme, zůstává stejný a jeho střed je dán pozicí $[x, y]$. Jeho velikost hrany je dána parametrem p . Od něj budeme odčítat čtverce obrazových bodů, které budou mít střed v oblasti $[x - \text{round}(p/2) - 1][y - \text{round}(p/2) - 1]$ až $[x + \text{round}(p/2) - 1][y + \text{round}(p/2) - 1]$. Nalezneme nejmenší chybu. Hodnotu RGB ze středu čtverce s nejmenší chybou přesuneme na pozici $[x, y]$. Čím větší bude velikost čtverce, tím více se bude zvětšovat složitost výpočtu algoritmu a doba běhu. Pro každou pozici $[x, y]$ vznikne $p \cdot p$ čtverců \Rightarrow vznikne $p \cdot p$ chyb k porovnání.

Při focení může dojít k nepatrnému posunu fotoaparátu, proto je důležité tento posun srovnat. Tento posun může být pro lidské oko nepatrný (například posun o jeden obrazový bod).

Vzorec pro výpočet chyby

$$chyba = \frac{\sum_{x,y=1}^p A_{x,y} - B_{x,y}}{p^2}, \quad (25)$$

kde A je 1. čtverec, B je 2. čtverec, p je velikost hrany čtverce.

4.2.2 Detekce hran

Pro detekci hran na obraze jsem implementoval všechny metody, které jsem výše zmínil. Všechny tyto metody lze nalézt ve třídě EdgeThread. Všechny algoritmy jsou založeny na stejném principu.

1. Načti obraz ze zadané složky.
2. Pro všechny pixely na pozicích $[x, y]$ a jejich okolí o velikosti 5×5 pixelů načti jejich hodnotu zelené barvy. Střed okolí je na pozici $[x, y]$. Zelenou barvu volíme, protože obsahuje nejméně šumu. Velikost 5×5 používám v algoritmu, protože odpovídá největší používané masce.
3. Ze získaných barev vypočteme gradient z masky. Tvar masky se mění v závislosti na použitém parametru.

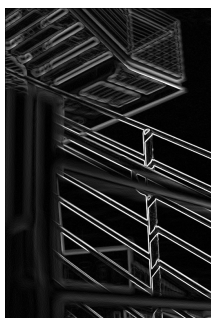
Filtr	Parametr
Laplacian of Gaussian	0
Sobel	1
Prewitt	2
Roberts	3
Highpass	4

4. Obrazovému bodu přiřadíme barvu ze schématu RGB, kde pro všechny tři kanály použijeme hodnotu g (hodnota vypočteného gradientu). Tím získáme obraz, ve kterém jsou detekovány hrany.
5. Uložíme obraz do složky, kterou jsme nastavili jako výstupní.
6. Algoritmus opakujeme pro všechny obrazy ze série.

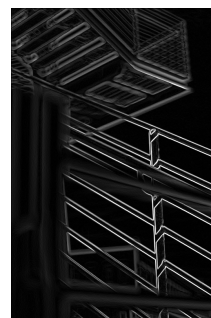
Srovnání jednotlivých filtrů



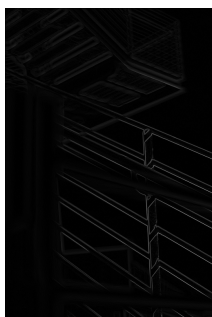
Obrázek 5: Původní fotka



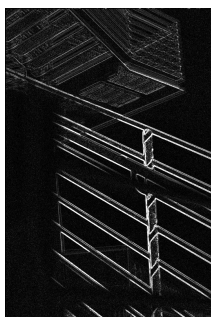
Obrázek 6: Sobelův operátor



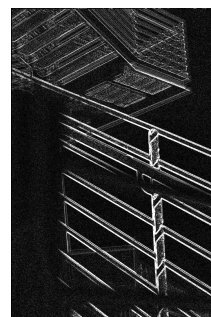
Obrázek 7: Operátor Prewittové



Obrázek 8: Robertsův operátor



Obrázek 9: Highpass filtr



Obrázek 10: Laplacian of gaussian

4.2.3 Výpočet relativní polohy jednotlivých pixelů

Pro výpočet relativní polohy pixelů jsem vytvořil metodu se čtyřmi způsoby porovnání intenzity obrazových bodů. Metody jsou rozděleny podle výpočtu maxima daného obrazového bodu a podle tvaru jádra. Jsou implementovány vždy dvě metody se stejným jádrem, které se liší pouze ve způsobu výpočtu.

Tvary jádra

- Uniformní kernel
- Triangulární kernel

Způsoby výpočtu maxima

- Medián pixelu a jeho okolí
- Vážený průměr pixelu a jeho okolí

Vážený průměr vypočteme podle vzorce (13).

U váženého průměru mají hodnoty různou váhu. V našem případě klesá váha hodnoty se vzdáleností od středu podle vzorce:

$$w = \frac{1}{\frac{1+|x|+|y|}{2}}, \quad (26)$$

kde $x > 0$ a x = vzdálenost od středu na ose x , $y > 0$ a y = vzdálenost od středu na ose y .
Pro výpočet váhy pro $x = 0$:

$$w = \frac{1}{\frac{2+|y|}{2}} \quad (27)$$

váha pro $y = 0$ se vypočte jako:

$$w = \frac{1}{\frac{2+|x|}{2}} \quad (28)$$

pro uniformní kernel velikosti 5×5 budou váhy hodnot vypadat takto:

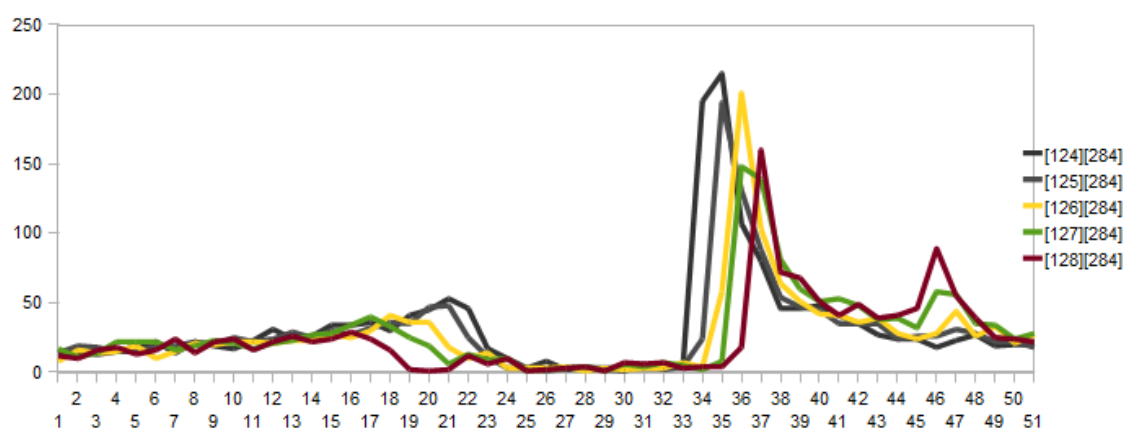
$$\frac{1}{2} \cdot \begin{pmatrix} 5 & 4 & 4 & 4 & 5 \\ 4 & 3 & 3 & 3 & 4 \\ 4 & 3 & 1 & 3 & 4 \\ 4 & 3 & 3 & 3 & 4 \\ 5 & 4 & 4 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

Medián vypočteme podle vzorce (12).

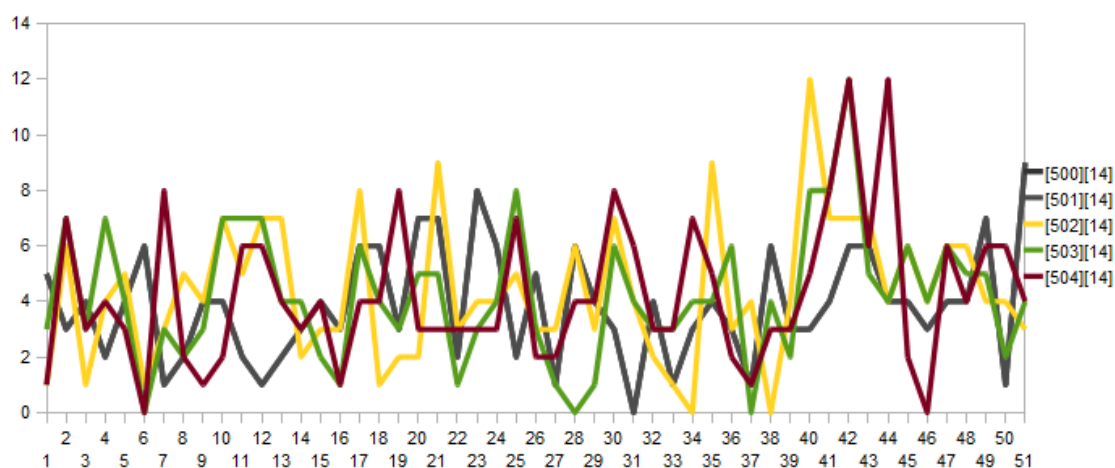
Metody pro hledání relativní polohy

1. Medián z uniformního kernelu
2. Vážený součet z uniformního kernelu
3. Medián z triangulárního kernelu
4. Vážený součet z triangulárního kernelu

Ukázky intenzity zelené barvy obrazových bodů v jednotlivých snímcích:
osa x značí číslo snímku, osa y hodnotu zelené barvy ze schématu RGB.



Obrázek 11: Graf obrazových bodů, ležících v části objektu na snímku.



Obrázek 12: Graf obrazových bodů, které reprezentují část oblohy.

Z grafu je patrné, že pixely reprezentující oblohu nemají jednoznačné maximum. Proto je nutné takto za sebou jdoucí hodnoty ošetřit, aby na výsledné fotce bylo nebe jednotné. Můžeme předpokládat, že obloha je nejostřejší na poslední fotografii ze série, protože vzdálenost roviny ostroty na posledním snímku by se měla blížit nekonečnu.

Ošetření pixelů reprezentující oblohu

Obrazové body reprezentující oblohu nemají velké výchyly hodnot. Při hledání maxima vezmeme tuto informaci v potaz a nalezneme minimální hodnotu h_{min} a maximální hodnotu h_{max} . Následně provedeme rozdíl $h_{min} - h_{max}$, pokud rozdíl nebude větší než námi určená hodnota p , budeme považovat obrazový bod za část oblohy a přiřadíme mu barevnou informaci z posledního snímku.

4.2.4 Tvorba obrazu s maximální hloubkou ostroty

Tvorba výsledného obrazu už je poměrně triviální záležitost.

1. Všechny obrazové body z 3D mapy si srovnáme podle jejich pozice z . Tím zabráníme zbytečným přístupům na disk. Každý obraz ze série bude otevřen pouze jednou. Zbytečné přístupy na disk by nám zvětšovaly dobu trvání algoritmu.
2. Vytvoříme nový obraz, který bude mít rozměry stejné jako obraz ze série.
3. Otevřeme obraz ze série.
4. Každému pixelu z nového obrazu, který má stejnou polohu $[x, y]$ jako pixely z 3D mapy $[x, y, z]$, kde z je pozice otevřeného obrazu ze série, přiřadíme hodnotu RGB z pixelu otevřeného obrazu na pozici $[x, y]$.
5. Projdeme takto všechny obrazy ze série. Tím přiřadíme každému obrazovému bodu z nově vytvořeného obrazu hodnotu RGB a vznikne nám obraz s maximální hloubkou ostroty.

Pro každý výsledný obraz se vygeneruje i 3D mapa v odstínech šedé reprezentující relativní pozice pixelů v prostoru. Čím je barva intenzivnější, tím se obrazový bod nachází blíže snímacího zařízení. Intenzita barvy začíná na $RGB(255, 255, 255)$. S každým snímkem klesá intenzita podle vzorce:

$$intenzita = 255 - p, \quad (29)$$

kde p = relativní pozice daného pixelu v prostoru.

Pokud $intenzita < 0$, nastaví se hodnota intenzity na 0. Číslo 255 je ve vzorci, protože rozsah hodnoty kanálu RGB je od 0 – 255. Celkem jsme schopni určit relativní pozici v prostoru pro 255 snímků. Snímky, které překročí rozsah intenzity jsou brány jako pozadí obrazu.

Výsledná fotografie s maximální hloubkou ostrosti



Obrázek 13: Výsledný snímek ($f/1.8$, ohnisková vzdálenost: 50 mm)



Obrázek 14: Relativní pozice obrazových bodů v prostoru

4.2.5 Tvorba anaglyfu

Druhý obraz pro anaglyf získáme posunem objektů pomocí relativní pozice obrazových bodů v prostoru.

1. Otevřeme fotografii s maximální hloubkou ostrosti a k ní příslušné relativní pozice obrazových bodů v prostoru.
2. Na fotce s relativní pozici obrazových bodů hledáme pozici x, y pixelů, které obsahují danou intenzitu, kterou postupně snižujeme podle vzorce (29), kde parametr p bude v tomto případě hodnota 0 až počet fotek-1.
3. Vytvoříme si novou fotku, na kterou postupně umísťujeme pixely ze snímku s maximální hloubkou ostrosti na pozici $x + x_p$ a $y + y_p$, kde x_p je námi zvolená velikost posunu na ose x a y_p je námi zvolená velikost posunu na ose y . Pokud už daná pozice obsahuje obrazový bod, který nemá hodnotu RGB(0,0,0), potom tento bod nepřepíšeme a zahodíme námi posouváný obrazový bod. Důvodem je, že obrazový bod, který umístíme na nový obraz má menší vzdálenost od snímacího zařízení, tedy leží v prostoru blíže než posouváný bod. Obrazové body na pozici x, y posouváme podle intenzity příslušných pixelů na snímku s relativní pozici obrazových bodů. Body s větší intenzitou jsou přesunuty dříve než body s menší intenzitou.
4. Posunem obrazových bodů nám vznikla černá místa na snímku, která je nutno dopočítat z pozadí. Zkusíme tedy získat informace z okolí. Podíváme se na pixely na pravo od posunu, pokud nalezneme pixel, který obsahuje jiné barevné informace z kanálu RGB, použijeme pro všechny pixely, které tvoří černé místo na pozici $[x_n - x, m][y]$, tuto informaci a přiřadíme jim barvu. Pokud se nám nepodaří získat informace z pravé části snímku, vyzkoušíme levou část. Pokud nenalezneme informaci ani v levé části snímku, zkusíme jí najít nad a pod černým místem. Pokud tuto informaci nalezneme, přiřadíme všem obrazovým bodům ležícím na pozici $[x][y_n - y_m]$ tuto informaci. Pokud se nám informace z okolí nepodaří získat, nemáme jak černé místo dopočítat a tedy zůstane nezměněno.
5. Po odstranění černých děr je posledním krokem vytvořit výsledný obraz složený ze dvou snímků. Z prvního snímku (snímek s maximální hloubkou ostrosti) použijeme kanály modré a zelené ze schématu RGB a z druhého snímku použijeme kanál červené barvy. Pro každý pixel tedy nastavíme hodnotu RGB $(R_2[x][y], G_1[x][y], B_1[x][y])$, kde R_2 je červený kanál z druhého snímku a G_1, B_1 jsou kanály zelené a modré barvy z prvního snímku.
6. Tento obraz nakonec uložíme.

Výsledný anaglyf



Obrázek 15: Snímek s maximální hloubkou ostrosti



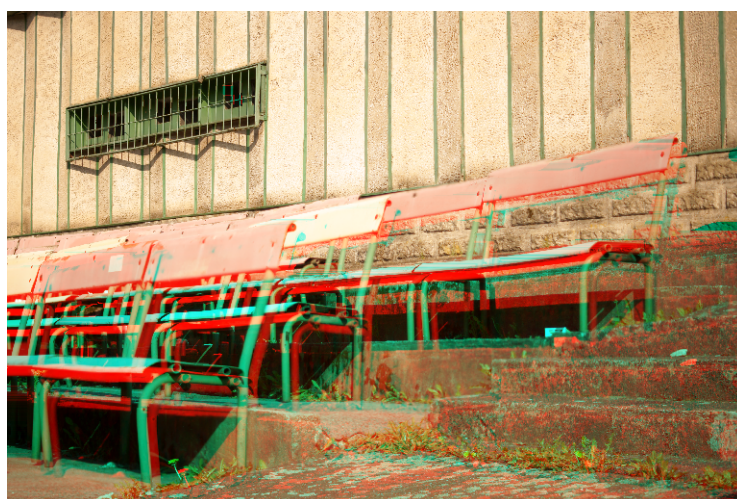
Obrázek 16: Posunutý snímek



Obrázek 17: Kanál modré a zelené z původní fotografie



Obrázek 18: Kanál červené z posunuté fotografie

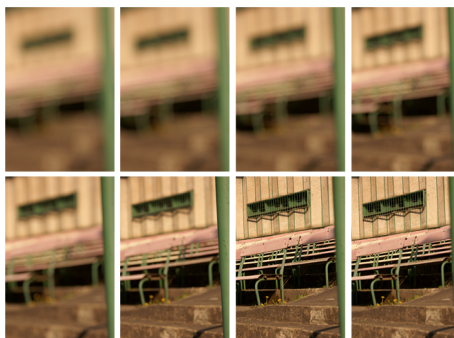


Obrázek 19: Výsledný anaglyf

5 Vliv clony a filtrů

Na začátku práce bylo stanoveno několik podmínek, které mohou ovlivnit kvalitu výsledné fotografie. Jednou z těchto podmínek byl požadavek na objektiv s malým clonovým číslem. Při samotném zpracování práce jsem vyzkoušel tři objektivy, abychom porovnali vliv clonového čísla na kvalitu výsledné fotografie. Jako první jsem použil objektiv SONY, který měl parametry $f/1.8$ a ohniskovou vzdálenost 50 mm. Výsledná fotografie vyšla ze všech testovaných sérií naprosto nejlépe, podařilo se docílit toho, že všechny objekty na fotografii byly ostré, proto nebyl problém udělat z tohoto snímku anaglyf.

Dalším testovaným objektivem byl základní setový objektiv od SONY 3.5-5.6f/18-70 nastavený na ohniskovou vzdálenost 70 mm a clonu $f/5.6$. Při snímání se zdálo, že bude obtížné určit u těchto snímků relativní polohu objektů v prostoru důsledkem větší hloubky ostroty na jednotlivých fotografiích.



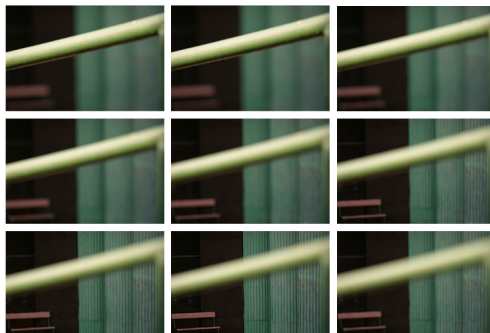
Obrázek 20: Průběh focení druhé série

Ve výsledku se ale ukázalo, že algoritmus dokázal poměrně uspokojivě určit nejostřejší body a vytvořit tak obraz s maximální hloubkou ostroty. Na snímku došlo k menšímu rozmáznutí nejbližšího objektu.



Obrázek 21: Snímek s maximální hloubkou ostroty z druhé série

Posledním objektivem byl SONY 4-5.6f/55 - 200 nastavený na f/5.6 a ohniskovou vzdálenost 200 mm. I přesto, že se snímky zdály být ze začátku vhodné,



Obrázek 22: Průběh focení třetí série

jsme zjistili, že snímky použít nelze z důvodu velkého rozostření blízkých předmětů, což nám znemožnilo nalézt správné obrazové body pro okolí blízkých předmětů.



Obrázek 23: Snímek s maximální hloubkou ostroty z třetí série

Okolí předmětů, které byly blízko snímacího zařízení, bude tedy rozmazané.

Dále jsme zmínili několik možností, jak k výslednému obrazu s maximální hloubkou ostroty dojít. Jednalo se o různé metody pro detekci hran a ostrých bodů na snímku 4.2.2 a metody, pomocí kterých jsme nakonec určovali maximální body 4.2.2. Ukažme si tedy vliv jednotlivých metod na výslednou fotografii.

Výsledné fotografie podle použitého operátoru

Fotografie jsou rozděleny v závislosti na použitém algoritmu pro detekci ostrých obrazových bodů.

- **Laplacian of Gaussian**

Výsledná fotografie má celkem uspokojivé výsledky, jediným problémem, který nastal, bylo mírné rozmazání objektu, které není na první pohled patrné.



Obrázek 24: Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití metody Laplacian of Gaussian

- **Sobelův operátor**

Protože snímky, u kterých byl použit Sobelův operátor, mají silnější hrany, za které bylo určeno i rozostření objektu, dochází na výsledném snímku k rozmazání v okolí objektů.



Obrázek 25: Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití Sobelova operátoru

- **Operátor Prewittové**

Jelikož je operátor Prewittové založený na podobném principu jako Sobelův operátor, byla výsledná fotografie podobná té, která byla vytvořena pomocí Sobelova operátoru. Stejným jevem bylo rozmazávání okolí předmětů.

- **Robertsův operátor**

Snímek s maximální hloubkou ostrosti pomocí Robertsova operátoru vyšel překvapivě dobře. V okolí objektů se občas vyskytne dvojí hrana, ale celkový snímek působí ostře.



Obrázek 26: Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití Robertsova operátoru

- **Highpass filtr**

Nejlepších výsledků dosahoval Highpass filtr. Na výsledném obraze nedošlo k žádnému rozmazání okolí předmětů a výsledný snímek byl dokonale ostrý.



Obrázek 27: Snímek s maximální hloubkou ostrosti při použití Highpass filtru

Při testování použití uniformního či triangulárního kernelu byly výsledné fotografie totožné. Nezaregistroval jsem, že by záměna jednoho kernelu za druhý měla na výsledný obraz dopad.

6 Závěr

Při zpracování práce jsem se seznámil s technikami, které se používají pro úpravy digitálního obrazu, a prohloubil své znalosti v této oblasti. Podařilo se mi vytvořit obraz s maximální hloubkou ostrosti a anaglyf. Při tvorbě snímku s maximální hloubkou ostrosti jsem porovnal jednotlivé metody pro detekci hran a ostrých bodů na snímcích, u kterých jsem srovnal jejich výsledné obrazy s hranami. Dále jsem porovnal jednotlivé metody pro nalezení obrazových bodů, které neměli na výsledný snímek tak velký vliv, jako metody pro detekci hran a ostrých bodů.

V dalším kroku práce bych mohl rozšířit způsoby tvorby výsledných snímků, pokusit se odstranit rozostření objektů ležících blízko snímacího zařízení a vyzkoušet jiné varianty stereoskopických obrazů a anaglyfů. Programovou část by bylo možno rozšířit o grafické rozhraní, ve kterém bychom viděli průběh zpracování snímků a následný pseudo trojrozměrný obraz.

7 Reference

- [Dav08] Harold Davis. *Expozice a světlo v digitální fotografii*. Computer Press, a.s., 2008.
- [Dob08] Michal Dobeš. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. BEN, 2008.
- [Kot03] Bohumil Kotlík. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky*. Fragment, 2003.
- [MA09] Raman Maini and Himanshu Aggarwal. Study and comparison of various image edge detection techniques. *Internation Journal of Image Processing (IJIP)*, 3, 2009.
- [Pih07] Roman Pihan. *Mistrovství práce s DSLR*. Institut digitální fotografie, 2007.